بررسی مقایسه‌ای تعیین تغییر شکل میوه لایم کوات با بکارگیری تئوری‌های مختلف الاستیسیته

ساناز وطنی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

ایمیل: sanaz.vatani@mail.um.ac.ir

محمد حسین عباسپور فرد

استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

ایمیل: abaspour@um.ac.ir

رسول خدابخشیان

استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

ایمیل: khodabakhshian@um.ac.ir

چکیده

با توجه به گسترش جمعیت و افزایش تقاضا برای مصرف مواد غذایی با کیفیت، موضوع بررسی خصوصیات مکانیکی مواد غذایی برای عرضه‌ی محصولات با کیفیت بالا به بازار حائز اهمیت خواهد بود. در هنگام انجام عملیات کشاورزی مانند کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت محصولات کشاورزی درمعرض آسیب‌های مکانیکی مختلفی مانند تغییر شکل قرارمی‌گیرند. در بیشتر موارد در کیفیت ظاهری و طعم و مزه محصولات تاثیر می‌گذارند و این امر باعث افزایش تلفات و کاهش ارزش اقتصادی محصولات کشاورزی می‌شود. بنابراین استفاده از تئوری‌های الاستیسیته برای تعیین میزان تغییر شکل در هنگام اعمال نیرو می‌تواند در جهت کاهش صدمات وارده به میوه کمک کند. یکی از میوه هایی که در سال های اخیر کشت و تولید آن در ایران در حال گسترش است، میوه لایم کوات است. در این مطالعه از تئوری‌های الاستیسیته موجود مانند هوک، بوسینسک و تئوری هرتز برای بررسی خصوصیات بافت داخلی میوه لایم کوات استفاده شده است. از آزمون کششی جهت بررسی پوست میوه و از طرح آزمایشی کاملا تصادفی شامل شش تیمار و پنج تکرار جهت تعیین میزان تغییر شکل این میوه استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داد بین آزمون‌های انجام شده برای تعیین میزان تغییر شکل محصول در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی داری وجود دارد. با توجه به این‌که مدول الاستیسیته در تعیین رفتار محصول تحت شرایط مختلف از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، در بین تئوری‌های فشاری بیشترین تغییر شکل مربوط به استفاده از تئوری هرتز در شرایط قرار دادن محصول کامل بین دو صفحه موازی با مقدار میانگین (۱۶/۲۸۸۰میلی‌متر) بود. کمترین میزان تغییر شکل مربوط به استفاده از قانون هوک با مقدار میانگین (۱۰/۸۸۰۰ میلی‌متر) بوده است. مقدار میانگین تغییر شکل پوست لایم کوات نیز (۷/۱۲۰۰ میلی‌متر) گزارش می‌شود.

واژگان کلیدی: تئوری‌های الاستیسیته، تغییر شکل، لایم کوات، آزمون فشاری، آزمون کشش

مقدمه

خواص مکانیکی مواد، توانایی مقاومت مواد در برابر نیروهای مکانیکی و بار است، این خواص را می‌توان از نظر رفتار ماده تحت اعمال نیرو اندازه گیری کرد (Murugan, 2020). نیروهای اعمال شده بصورت پیچشی، خمشی، فشاری و کششی هستند که تحت بارگذاری‌های استاتیکی، دینامیکی و متناوب اعمال می‌شوند (Emadi et al., 2011). یکی از مهمترین آزمون‌ها در بررسی خواص مکانیکی میوه‌ها و سبزیجات آزمون فشاری می‌باشد که برخی از خواص مکانیکی پوست، گوشت و محصولات بدون پوست را حاصل می‌شود. علاوه بر آزمون فشاری، آزمون کششی برای ارزیابی خواص مکانیکی پوست از جمله استحکام پوست مورد استفاده قرار می‌گیرد (Emadi et al., 2005). در عملیات پس از برداشت، بافت‌های میوه و سبزیجات تحت فشارهای مکانیکی بسیاری قرار می‌گیرند که موجب آسیب در بافت و کیفیت محصول می‌شود (Grotte et al., 2001) که بیشترین دستاوردهای اندازه گیری فشردن میوه شامل منحنی‌های نیرو- زمان، جابجایی – زمان می‌شود (Stropek & Gołacki, 2015). در راستای گسترش فعالیت‌ها در برداشت مکانیزه و کنترل مواد بیولوژیکی، آگاهی از خصوصیات مکانیکی مواد بیولوژیکی برای طراحی مناسب و فراوری صحیح محصولات ضروری است بطوریکه این اطلاعات در تعیین زمان بهینه برداشت و بررسی کیفیت میوه در طی ذخیره سازی، فراوری، بازاریابی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Khodabakhshian et al., 2021). غالبا بافت بیولوژیکی از نظر خصوصیات ساختاری و مادی توصیف می‌گردد، همچنین خصوصیات ساختاری از طریق رابطه بین نیرو و تغییر شکل یا تنش و فشار نشان داده می‌شوند(Sahay, 1984)، از روش‌های نیرو/ تغییر شکل بطور گسترده‌ای برای اندازه گیری خواص بافتی مواد غذایی جامد استفاده می‌شود. آنها بطور مستقیم خصوصیات مکانیکی و همچنین مقاومت در برابر آسیب مکانیکی را اندازه گیری می‌کنند. روش‌های نیرو/ تغییر شکل بر اساس تئوری‌های مهندسی مواد ساخته شده و خصوصیات مکانیکی تعریف شده مواد غذایی را اندازه گیری می‌کند. دو روش برای اندازه گیری نیرو/ تغییر شکل بافت غذا وجود دارد: مخرب و غیر مخرب. بسیاری از افراد روش مخرب را ترجیح می‌دهند زیرا معمولا به نسبت روش-های غیر مخرب ارتباط بهتری با ارزیابی حسی دارند. تکنیک‌های مخرب برای ارائه اطلاعات در مورد میانگین کیفیت برای دسته‌ای از مواد غذایی مفید هستند (Lu & Abbott, 2004). با این حال با توجه به ساختار پیچیده محصولات کشاورزی استفاده از تئوری‌های الاستیسیته در تعیین خصوصیات مکانیکی به کمک می‌آید (Emadi et al., 2011). هر چند تحقیقات زیادی در زمینه بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات بیولوژیکی یا کشاورزی صورت گرفته اما تحقیق در زمینه خواص میوه لایم کوات بسیار محدود است و بنابراین آگاهی از میوه لایم کوات از اهمیت بالایی برخوردار بوده و در طراحی و بهینه سازی تجهیزات مربوطه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

درارتباط با بررسی خواص مکانیکی محصولات کشاورزی می‌توان به تحقیقاتی در مورد هویج (Jahanbakhshi et al., 2018)، خیار (Moradi et al., 2020)، انار (Khodabakhshian et al., 2021)، آناناس (Khodabakhshian & Hassani, 2021)، موز (Khodabakhshian et al., 2021) انجام گرفته است اشاره نمود.

میوه لایم کوات حاصل پیوند مرکبات کی لایم(*Citrus aurantiifolia*) و کامکوات گرد (*Citrus japonica*) است که توسط دکتر والتر سینگل[1] در سال ۱۹۰۹ در فلوریدا با نام علمی Citrus x floridana *(J. Ingram & H. Moore)* Mab. و از خانواده روتاسه[2] پرورش یافته است که در حال حاضر شامل سه گونه *Eustis*، *Lakeland*، *Tavares* است. لایم کوات را می‌توان بصورت کامل مصرف کرد یا از آب و پوست آن بعنوان طعم دادن به نوشیدنی‌ها و غذاها، برای تهیه مربا، ژله استفاده کرد. میوه لایم کوات مقدار زیادی ویتامین c دارد و اسیدیته می‌باشد بنابراین بسیار مشابه به لیموترش است (Lim, 2012; Walheim, 1996). آسیب‌های مکانیکی در محصولات کشاورزی به صورت‌های مختلفی ایجاد می‌شود (De Ketelaere et al., 2006). شکل آسیب ایجاد شده به عواملی چون ساختمان فیزیکی محصول، مقدار بار و میزان سرعت بارگذاری بستگی دارد (Mohammadi Ailar et al., 2012). در تحقیق حاضر تغییر شکل‌های متفاوت در سرعت بارگذاری-های متفاوت بر روی بافت و پوست میوه لایم کوات مورد بررسی قرار گرفت.

روش تحقیق

تهیه نمونه‌ها

به منظور انجام این آزمایش ۳۵ عدد لایم کوات در اندازه و رنگ یکسان از یکی از باغ‌های شهرستان ساری واقع در استان مازندران تهیه شد (شکل ۱) و به آزمایشگاه خواص گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد.

شکل ۱- نمونه لایم کوات مورد استفاده در این تحقیق

آماده سازی نمونه‌ها

در ابتدا نمونه‌های سالم و عاری از آفت به صورت کاملا تصادفی انتخاب شد، تمام نمونه‌ها بصورت جداگانه شسته، شماره گذاری شده و سپس بلافاصله به آزمایشگاه پس از برداشت واقع در گروه مکانیک بیوسیستم انتقال یافت. قبل از انجام آزمایش‌ها مقدار لازم میوه لایم کوات از یخچال بیرون آورده و اجازه هم دمایی با محیط به مدت ۲ ساعت داده شده و سپس لایم کوات‌ها مورد آزمایش قرار گرفته شدند (Khodabakhshian & Hassani, 2021).

[1] Dr Walter Swingle
[2] Rutaceae

۱-۲- اندازه گیری میزان تغییر شکل

از دستگاه آزمایش کشش-فشار با نام تجاری اینسترون مدل H5KS ساخت شرکت Tinius Olsen و کشور انگلستان محهز به لودسل ۵۰۰ نیوتن و دقت ۰/۰۰۱ نیوتن در نیرو و ۰/۰۰۱ $\pm$ میلی‌متر در تغییر شکل استفاده شد (شکل ۲). برای هر آزمایش هر نمونه به صورت جداگانه در فاصله بین فک‌های ثابت و متحرک دستگاه آزمون قرار می‌گرفت و با حرکت فک متحرک فشرده می‌شد یا توسط گیره‌های کششی مورد آزمون کشیده می‌شد. هم‌زمان با حرکت فک‌ها یا گیره‌ها نیرو سنج موجود در دستگاه، نیرو تا لحظه شکست اندازه گیری و نمودار نیرو- تغییر شکل نمونه بطور پیوسته ترسیم می‌شد. در این میان بارگذاری‌ها مطابق به تئوری‌های ذیل انجام شد و حداکثر میزان تغییر شکل نمونه خوانده شد.

شکل ۲- دستگاه کشش- فشار اینسترون مورد استفاده در آزمایش

کاربرد تئوری‌های الاستیسیته در تعیین میزان تغییر شکل

قانون هوک

در این روش (شکل ۳) نمونه‌های استوانه‌ای یا مکعبی شکل از میوه لایم کوات تهیه و تحت نیروی معینی (میزان نیرویی که نمودار نیرو- تغییر شکل در حد الاستیک باقی بماند) بارگذاری می‌شود. با توجه به مدول الاستیسیته حداکثر نیرو قرائت شده و سپس میزان تغییر شکل به دست می‌آید در این آزمایش سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر در دقیقه در نظر گرفته شد (Khodabakhshian & Emadi, 2011).

شکل ۲) نمونه استوانه‌ای میوه لایم کوات بین دو صفحه موازی در قانون هوک

تئوری هرتز

این تئوری برای دسترسی به تنش تماسی مواد الاستیک توصیه می‌شود. با توجه به نوع بارگذاری و شرایط نمونه این تئوری به دو شکل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khodabakhshian & Emadi, 2011).

الف) فشردن محصول کامل بین دو صفحه موازی:

با بکارگیری تئوری هرتز میتوان به میزان تغییر شکل محصول کاملی که بین دو صفحه موازی فشرده می‌شود (مطابق شکل ۳) دست یافت برای افزایش دقت سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت.

شکل ۳) فشردن محصول کامل بین دو صفحه موازی در تئوری هرتز

ب) فشردن پراب کروی با قطر معین بر روی محصول:

(مطابق شکل ۴) در این حالت با فشردن پرابی با سطح مقطع کروی دستگاه اینسترون با قطر معین روی محصول و اندازه گیری تغییر شکل و نیروی وارده به محصول، تغییر شکل حاصل شده اندازه گیری می‌شود. در این بررسی نسبت پواسون ۰/۵ و رفتار محصول ویسکوالاستیک خطی فرض می‌شود.

سرعت بارگذاری ۳۰ میلی‌متر در دقیقه در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط محصول در طول بارگذاری این روش به دو صورت انجام می‌شود.

الف) استفاده از نمونه محصول کامل نشان داده شده در شکل (۴)، در این آزمایش از پراب کروی به قطر ۸ میلی‌متر استفاده شد.

شکل ۴) فشردن پراب کروی با قطر معین بر روی میوه کامل لایم کوات در تئوری هرتز

ب) استفاده از نمونه مستطیلی از محصول شکل (۵) با سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر در دقیقه این تئرری مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۵) فشردن پراب کروی با قطر معین روی نمونه مستطیلی از میوه لایم کوات در تئوری هرتز

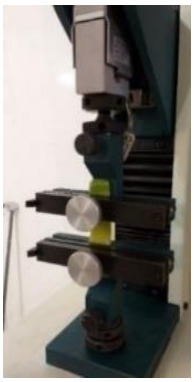
تئوری بوسینسک

این تئوری (شکل ۶) برای اولین بار توسط بوسینسک برای دست یافتن به مدول الاستیسیته مواد الاستیک پیشنهاد گشت و بعدها توسط تیموسنگو گودیر گسترش یافت (Shelef & Mohsenin, 1969). در این آزمایش از پراب استوانه‌ای به قطر ۸ میلی‌متر استفاده شد (Khodabakhshian & Emadi, 2011) و همچنین سرعت بارگذاری در این تئوری ۱۰ میلی‌متر در دقیقه در نظر گرفته شد.

شکل ۶) استفاده از تئوری بوسینسک برای تعیین مدول الاستیسیته

آزمون کششی

برای انجام این آزمون پوست میوه لایم کوات (مطابق شکل ۷) به شکل مستطیل دارای طول و عرض ۲۰ میلی‌متر در ۳۰ میلی‌متر برش داده شد و بین گیره‌های کششی دستگاه قرار داده شد. سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر در دقیقه اعمال شد.



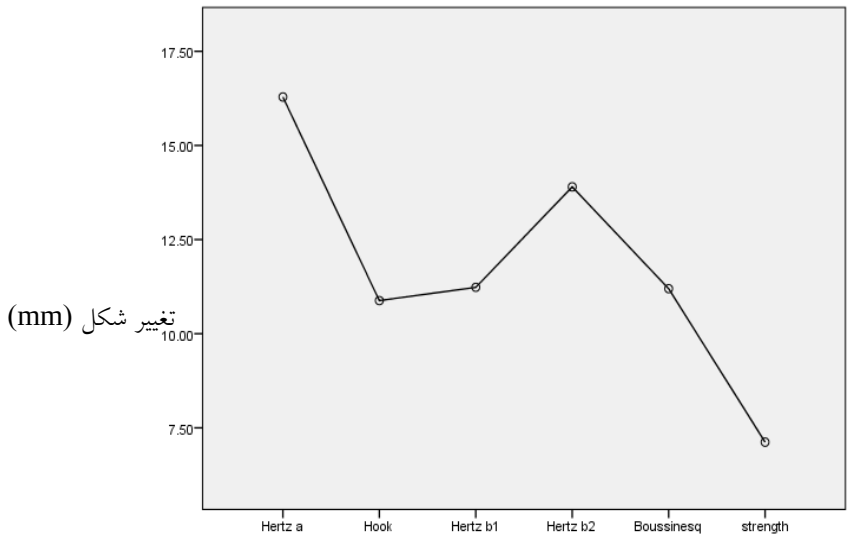
شکل ۷) ازمون کششی بر روی پوست محصول لایم کوات

یافته‌ها

نتایج حاصله بر مبنای طرح کاملا تصادفی با پنج تکرار و با استفاده از تجزیه واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. عوامل مورد مطالعه میانگین تیمارها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با کمک نرم افزار Spss مقایسه شد نتایج حاصله در جدول(۱) و شکل (۸) ارائه شده است.

جدول ۱) تجزیه واریانس تئوری‌های الاستیسیته و آزمون کششی

منبع تغییر	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	میانگین مربعات Ms	F محاسبه شده
تیمار	۲۳۹/۹۱۴	۵	۴۷/۹۸۳	۴/۸۸۳
اشتباه	۲۳۵/۸۱۳	۲۴	۹/۸۲۶	
کل	۴۷۵/۷۲۷	۲۹		



Hertz a: فشردن محصول کامل بین دو صفحه موازی

Hertz b1: فشردن پراب کروی روی محصول کامل

Hertz b2: فشردن پراب کروی روی محصول استوانه-ای شکل

شکل ۸) نمودار مقایسه میانگین آزمون چند دامنه‌ای دانکن

بحث و نتیجه گیری

با توجه به جدول (۱) اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بین تئوری‌های الاستیسیته بکار گرفته شده در آزمون فشاری برای بافت میوه و آزمون کششی برای پوست جهت بررسی تغییر شکل ایجاد شده، مشاهده می‌شود. با توجه به شکل (۸) خروجی از داده‌های نرم افزار Spss بین میانگین‌های آزمون فشاری، حداکثر مقدار میانگین تغییر شکل مربوط به استفاده از تئوری هرتز، تحت شرایط فشردن محصول کامل بین دو صفحه موازی (۱۶/۲۸۸ میلی‌متر) و کمترین میزان تغییر شکل مربوط به استفاده از قانون هوک (۱۰/۸۸۰ میلی‌متر) می‌باشد، همچنین مقدار میانگین تغییر شکل برای آزمون کششی پوست (۷/۱۲۰ میلی‌متر) گزارش شده است. می‌توان مشاهده نمود که نوع بارگذاری تاثیر قابل توجهی در سطح ۵ ٪ در ایجاد تغییر شکل دارد. بررسی-های انجام شده توسط خدابخشیان و همکاران برای اندازه گیری مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری‌های الاستیسیته دانه کدو(خدابخشیان و همکاران، ۲۰۱۲)، هادی عبدالله زاده و همکاران(عبداله زاده و همکاران، ۱۳۹۶) برای بررسی تغییر شکل و مدول الاستیسیته گوجه فرنگی طی مراحل مختلف رسیدگی میوه گوجه‌فرنگی به نتایج مشابهی دست یافتند.

بطور کلی تغییر شکل در محصولات کشاورزی تحت بارگذاری در شرایط مختلف مانند حمل و نقل می‌تواند موجب افت چشم-گیر کیفیت محصولات کشاورزی شود. بنابراین آگاهی از حداکثر بار مجازی که می‌توان برای محصولات کشاورزی تا قبل از از دست دادن کیفت آن‌ها اعمال کرد علاوه بر داشتن صرفه اقتصادی، سبب حفظ کیفیت محصولات مختلف در عملیات متفاوت کشاورزی می‌شود و به حداقل رساندن آسیب‌های مکانیکی در این محصولات با ارزش می‌شود. تا کنون هیچ روشی از بین تئوری‌های مورد مطالعه بعنوان دقیق‌ترین روش مطالعه گزارش نشده است. آرنولد و ربرتز که مدول الاستیسیته دانه گندم را تعیین نمودند معتقدند که اظهار نظر در مورد بهترین روش تقریبا غیر ممکن است (Arnold & Roberts, 1969). بنابراین نمی‌توان نتیجه گرفت که کدام یک از تئوری‌های الاستیسیته موجود می‌تواند بعنوان روش دقیق برای تعیین تغییر شکل محصولات کشاورزی بکار گرفته شود. بر اساس نتایج این تحقیق، لایم کوات میوه‌ای با ارزش تقریبا یکسان با لیموترش با استفاده از قانون هوک در شرایط فشردن پراب استوانه‌ای شکل روی محصول کامل با مقدار میانگین (۱۰/۸۸۰ میلی‌متر) کمترین میزان تغییر شکل را در میان تئوری‌ها دارد. مقدار میانگین برای نمونه پوست محصول (۷/۱۲۰ میلی‌متر) می‌باشد. بنابراین برای کشیده شدن پوست محصول نیازی به انرژی زیادی نمی‌باشد.

منابع

خدابخشیان, عمادی, باقر, فرد, ع., صدرنیا, حسن. (۲۰۱۲). اندازه گیری مدول الاستیسیته دانه کدو با استفاده از تئوری های مختلف. ***هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک و فن آوریهای پیشرفته اصفهان.***

عبداله زاده, ه., گل محمدی, ع., بجائی, ف. (۱۳۹۶). بررسی تغییر شکل و مدل الاستیسیته گوجه فرنگی طی مراحل مختلف رسیدگی ***پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی کشاورزی ارگانیک و مرسوم.***

Arnold, P., & Roberts, A. (1969). Fundamental aspects of load-deformation behavior of wheat grains. *Transactions of the ASAE*, *12*(1), 104-0108 .

De Ketelaere, B., Desmet, M., & De Baerdemaeker, J. (2006). Determination of bruise susceptibility of tomato fruit by means of an instrumented pendulum. *Postharvest biology and technology*, *40*(1), 7-14 .

Emadi, B., Khodabakhshian, R., Fard, M. A., & Sadrnia, H. (2011). Experimental comparison of applying different theories in elasticity for determination of the elasticity modulus of agricultural produce, pumpkin seed as a case study. *International Journal of Agricultural Technology*, *7*(6), 1495-1508 .

Emadi, B., Kosse, V., & Yarlagadda, P. K. (2005). Mechanical properties of pumpkin. *International Journal of Food Properties*, *8*(2), 277-287 .

Grotte, M., Duprat, F., Loonis, D., & Piétri, E. (2001). Mechanical properties of the skin and the flesh of apples. *International Journal of Food Properties*, *4*(1), 149-161 .

Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., & Gundoshmian ,T. M. (2018). Determination of physical and mechanical properties of carrot in order to reduce waste during harvesting and post-harvesting. *Food Science & Nutrition*, *6*(7), 1898-1903 .

Khodabakhshian, R., & Emadi, B. (2011). Determination of the modulus of elasticity in agricultural seeds on the basis of elasticity theory. *Middle-East Journal of Scientific Research*, *7*(3), 367-373 .

Khodabakhshian, R., Emadi, B., Khojastehpour, M., & Golzarian, M. R. (2021). Developmental Changes in Ripeness Indexes and Physico-Chemical Properties of Pomegranate Fruit During Maturity On Tree. *Erwerbs-Obstbau*, *63*(2), 215-225 .

Khodabakhshian, R., & Hassani, M. (2021). The study and comparison of elastic modulus of pineapple fruit in macroscopic and microscopic modes. *Microscopy Research and Technique*, *84*(6), 1348-1357 .

Khodabakhshian, R., Naeemi, A., & Bayati, M. R. (2021). Determination of texture properties of banana fruit cells with an atomic force microscope: A case study on elastic modulus and stiffness. *Journal of Texture Studies*, *52*(3), 389-399 .

Lim, T. (2012). Citrus x floridana. In *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* (pp. 843-845). Springer .

Lu, R., & Abbott, J. A. (2004). Force/deformation techniques for measuring texture. *Texture in food: volume 2: solid foods*, 109-145 .

Mohammadi Ailar, S., Minaei, S., Afkari Sayyah, A., Shahidzadeh, M., & Asghari, A. (2012). Investigation of the Mechanical Properties of Tomato Under Compressive Loading During Post-harvest Ripening. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *42*(2), 191-196 .

Moradi, M., Balanian, H., Taherian, A., & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Physical and mechanical properties of three varieties of cucumber: A mathematical modeling. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(2), e13323 .

Murugan, S. S. (2020) .Mechanical Properties of Materials: Definition, Testing and Application. *Int. J. Modern. Studies. Mech. Eng*, *6*(2), 28-38 .

Sahay, K. (1984). On the choice of strain energy function for mechanical characterisation of soft biological tissues. *Engineering in medicine*, *13*(1), 11-14 .

Shelef, L., & Mohsenin, N. N. (1969). Effect of moisture content on mechanical properties of shelled corn. *Cereal Chemistry*, *46*(3), 242-253 .

Stropek, Z., & Gołacki, K. (2015). A new method for measuring impact related bruises in fruits. *Postharvest Biology and Technology*, *110*, 131-139.

Walheim, L. (1996). *Citrus:* Complete guide to selecting & growing more than 100 varieties for California, *Arizona, Texas, the Gulf Coast and Florida*. Tucson, Ariz: Ironwood Press .

A comparative study of limequat fruit deformation using different theories of elasticity

Sanaz Vatani Master student, Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Email: sanaz.vatani@mail.um.ac.ir

Mohammad Hossein Abbaspour-Fard[1] : Professor, Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Email: abaspour@um.ac.ir

Rasool Khodabakhshian[2]: Assistant Professor, Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Email: khodabakhshian@um.ac.ir

Abstract

Due to increasing trend of population and demand for quality food,the study of mechanical properties of food to supply high quality products to the market is of interest.During agricultural operations such as planting, harvesting and post-harvest agricultural products are exposed to various mechanical damages such as deformation, which in most cases affect their quality.his causes losses and economic reduction of agricultural products.Therefore, using theories of elasticity to determine the deformation when applying force can help to reduce damaging of fruits. One of the fruits that its cultivation and production is expanding in Iran in recent years is Limequat fruit.In this study,some theories of elasticity including Hooke, Bosinsk and Hertz were used to examine the internal texture of limequat.The tensile test performed to examine the skin of the fruit and a completely randomized experimental design with 6 treatments and 5 replications to determine its deformation.The investigation showed that there is a significant difference at the 5% level between the tests performed to determine the deformation of lime quat.Due to the importance of modulus of elasticity in determining the behavior of the product under different conditions, among the compression theories, the highest deformation was observed from the Hertz theory with two parallel plates with mean of 16.2880 mm.The lowest deformation was related to the use of Hooke's law with an average value of 10.8800 mm.The average amount of limequat skin deformition is also reported as 7.1200 mm.

Key words: Theories of elasticity, deformation, limequat, compression test, tensile test